Gedruckt mit Unterstützung aus dem Jerome und Margaret Stonborough-Fonds

Solarklimatische Spielräume morphogener Hemisphärentemperaturen der Vorzeit

Von

Fritz Kerner-Marilaun

K. M. d. Akad. d. Wiss.

(Vorgelegt in der Sitzung am 20. Juni 1924)

Vor vielen Jahren habe ich die Forbes'sche Temperaturformel auf mehrere paläogeographische Rekonstruktionen angewandt[1] um ein Bild der thermischen Gesamtänderungen, die (beim heutigen Solarklima) aus großen Wechseln der Land- und Meerverteilung erwachsen würden, zu gewinnen. Der Gedanke, bestimmte Temperaturwerte der Vorzeit zu erhalten, lag mir dabei fern. Die seither von Spitaler durchgeführte Berechnung[2] der Temperaturen im reinen Land- und Seeklima für die Kombinationen der äußersten Grenzwerte von und ε, jener bei dem Maximum von e für die vier Hauptstellungen von π, ermöglichte es, jene Formelanwendung auf eine Bestimmung der vereinten thermischen Gesamtwirkung wechselnder Erdbilder und extremer Erdstellungen auszudehnen. Das bot zugleich Gelegenheit, den Einfluß, den Umformungen des Erdbildes allein und jenen, den Änderungen der Erdstellung allein auf die Hemisphärentemperaturen ausüben würden, zu vergleichen.

Auch diese erweiterte Untersuchung war nur als eine rein theoretische gedacht. Hierdurch erledigen sich alle Bedenken, die sonst gegen sie zu erheben wären; zunächst der Einwand, daß jene Erdkarten der Vorwelt, die ein vom jetzigen sehr abweichendes Erdbild aufzeigen — es sind die Rekonstruktionen für paläozoische Zeitabschnitte — viel zu sehr Phantasiegebilde seien, um als Grundlagen für die Messung vorweltlicher Werte von n in Betracht zu kommen. Diesem Einwand hier noch vorzugreifen, ist allerdings insofern nicht nötig, als er schon bezüglich meiner eingangs erwähnten beiden Arbeiten nicht erhoben wurde, diese vielmehr — so aufgefaßt wie sie gedacht waren — eine zustimmende Beurteilung erfuhren.[3]

Bei jener Auffassung entfällt auch der Einwurf, daß es bei der Berechnung der Wärmeverteilung für Weltbilder paläozoischer Zeitstufen unstatthaft sei, die heutige Pollage zugrunde zu legen.

F. Kerner: Eine paläoklimatologische Studie. Diese Sitzungsber. CIV. Bd., 1895, p. 286—291.

Die theoretische Temperaturverteilung auf Prof. Frech's Weltkarten der altpaläozoischen Zeit. Diese Sitzungsber. CVIII. Bd., 1899, p. 220—223.

R. Spitaler, Das Klima des Eiszeitalters. Prag, 1921.

[3] Hann, Klimatologie. II. Aufl., I. Bd., 1897, p. 208.

Eckardt, Klimaproblem. 1909, p. 55.

Auch die Unsicherheit der zugrunde gelegten Werte des zonalen Klimas kann unter dem gemachten Vorbehalte nicht beirren. Die Bestimmung der Temperaturen im reinen Land- und Seeklima durch Einsatz der Grenzwerte von n in die Forbes'sche Formel ist schon von Hann und Woeikof als ein mit den Schwächen freier Extrapolation behaftetes Verfahren gekennzeichnet worden.

Spitalers neue Formel ist wohl viel kunstvoller aufgebaut als ihre Vorläuferin, sie will aber auch eine sehr viel schwierigere Aufgabe lösen als jene. Man darf sich nicht darüber hinwegtäuschen, daß die Werte, welche Spitaler für die Parallelkreistemperaturen auf einer reinen Land- und Wasserhalbkugel anführt, doch noch etwas unsicher sind. Doch ist es als ein Fortschritt zu werten, wenn die mittlere Jahreswärme auf einem rein ozeanischen Gleicher, welche — sofern man die von mir jüngst über die Thermik des reinen Seeklimas entwickelte Ansicht[1] außer Betracht läßt — mit 26·0 anzusetzen ist, jetzt mit 24·2 aufscheint, während Forbes für sie nur 22·2 erzielt hatte.

Gegen die von Spitaler seinen Rechnungen zugrunde gelegten Strahlungsformeln von Hopfner[2] haben bekanntlich Herz, Rudzki und Milanković[4] Einwände erhoben. Spitaler hat seine Stellungnahme gegenüber diesen Angriffen konform dem von Hopfner selbst zu seiner Rechtfertigung vorgebrachten Standpunkte klar dargelegt.[5] Der Klimatologe kann sich mit dem von Spitaler nach Hopfners Formeln für das »nicht reale« Seeklima am Pole errechneten Jahresmittel von —20·6 nicht befreunden, weil das zonale Wärmegefälle in der südlich gemäßigten Zone, welches dem auf einer Wasserhalbkugel nahe kommt, auf eine viel weniger tiefe Temperatur zu weisen scheint. Am 60. Parallel, bis zu welchem Spitaler die Berechnung des reinen Land- und Seeklimas für die extremen Erdstellungen durchgeführt hat, bleibt die nach Hopfner erhaltene Gesamtstrahlung schon um 12% hinter der von Meech und Wiener berechneten zurück. Da aber im folgenden Erdgürteltemperaturen mitgeteilt sind (für 0 bis 60° und 20 bis 60°), in welche die subpolaren Temperaturen zudem mit geringerem Gewichte eintreten, dürften die gewonnenen Mittelwerte von jenen, die man nach Wiener erhielte, wenig abweichen.

---

[1] F. Kerner, Das akryogene Seeklima und seine Bedeutung für die geologischen Probleme der Arktis. Diese Sitzungsber., 131. Bd., 6. Heft, 1922.

F. Hopfner, Die Verteilung der solaren Wärmestrahlung auf der Erde. Diese Sitzungsber., Bd. 114, II*a*, Okt., 1905.

N. Herz, Die Eiszeiten und ihre Ursachen. Wien, 1909, p. 227, Fußnote 2.

[4] M. Milanković, Théorie mathématique des phénomènes thermiques produits par la radiation solaire. Paris, 1920, p. 324, Literaturverzeichnis.

[5] R. Spitaler, Über die Theorien der solaren Wärmeverteilung auf der Erde. Meteorolog. Zeitschr., 1922, Heft 2, p. 52.

Die von Spitaler für die extremsten Fälle errechneten Landtemperaturen erscheinen auf den ersten Blick auffallend hoch. Erwägt man, daß sich der Perihelsommer der Südhemisphäre bei der jetzigen geringen Exzentrizität in den Temperaturen der australischen Inlandstationen schon bemerkbar macht, so könnte man allerdings an die Möglichkeit denken, daß sich bei maximalen Werten von e im Sommer hohe Hitzegrade einstellen würden.

Die paläogeographischen Bilder, welchen für jeden zehnten Parallel die Werte von n entnommen wurden, sind die von Frech für das tiefere Untersilur (I), Obersilur (II), Unterdevon (III), unteres Oberdevon (IV) und Oberkarbon (V) entworfenen und in der Lethaea geognostica erschienenen Weltkarten.[1] Die Grenzwerte von ε und e, für welche Spitaler die Temperaturen im reinen Land- und Seeklima bis zum 60. Parallel — getrennt für die vier Jahreszeiten — berechnete, sind $\varepsilon = 27° 48'$ und $\varepsilon = 20° 34'$ (Schubert, 1799) und $e = 0{\cdot}07775$ (Le Verrier) und $e = 0$. Die Kombinationen dieser Werte mit den vier Hauptstellungen von π ergeben zehn verschiedene Sachlagen.

Es wurden von mir zunächst Mitteltemperaturen für 10° Zonen bestimmt und diese mit entsprechendem Gewichte $[\sin\varphi_2 - \sin\varphi_1]$ zu Mittelwerten für die Erdgürtel: 60 N bis 20° N, 20° N bis 20° S, 20° S bis 60° S, 60° N bis 0° und 0° bis 60° S vereint. Die Abgrenzung der ersten drei dieser Gürtel nähert sich jener für die nördlich gemäßigte, tropische und südlich gemäßigte Zone. Dem schon eingangs erwähnten Zwecke entsprechend, wurde die Anordnung der folgenden Zahlentafeln so getroffen, daß die Abhängigkeit der Temperaturen von der Erdstellung und Landverteilung unmittelbar ersichtlich wird, die Einflüsse der Jahreszeit und der zonalen Lage aber an zweiter Stelle zu erkennen sind. Von einer Anführung der Herbsttemperaturen konnte abgesehen werden, weil dieselben für $e = 0$ und bei $\pi = 90°$ und $\pi = 270°$ auch für $e > 0$ den Frühlingstemperaturen (theoretisch) gleich sind und bei $\pi = 0°$ und $\pi = 180°$ mit diesen Temperaturen wechselweise übereinstimmen. Die Hinzufügung der Mittelwerte für den ganzen zwischen den 60. Parallelen gelegenen Teil der Erdoberfläche in der Tabelle der Jahrestemperaturen geschah lediglich, um diese Zahlentafel symmetrisch zu gestalten; im übrigen war auf die Mitangabe solcher Gesamtmittel leicht zu verzichten, da sich bei den Jahreszeiten das Interesse gerade den Temperaturunterschieden zwischen den beiden Halbkugeln zuwendet.

---

[1] Die Werte von n für die ersten vier Erdbilder finden sich schon in meiner eingangs erwähnten Notiz vom Jahre 1899 angeführt; die für V sind:

φ.	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°
N.	81	61	52	33	11	33	35
S.	2	28	55	62	58	44	—

Die Tabelle liefert ein Gesamtbild der von den variablen Erdbahnelementen abhängigen Schwankungen der Luftwärme, dagegen nur ein Teilbild der durch die Landverteilung bedingten, da wohl alle extremen Erdstellungen in Rechnung gezogen, aus der Zahl der zu erwägenden Erdbilder aber nur fünf, und gerade nicht die extremsten, herausgegriffen wurden. Der aus den Änderungen von ε, e und π sich ergebende thermische Spielraum erscheint für die einzelnen Jahreszeiten auffallend groß. Er beträgt im Durchschnitt aller Fälle für den nördlich gemäßigten Gürtel 8·3, für die Tropen 12·4, für den südlich gemäßigten Gürtel 6·6, für die extrapolaren Teile der Nord- und Südhalbkugel noch 9·7 und 9·2. Dabei zeigt er sich von der Jahreszeit ziemlich unabhängig, indem er in den 40° breiten Gürteln für den Frühling und Herbst 8·3, für den Sommer und Winter 9·6 und 9·5, in den 60° breiten Gürteln in den Übergangsjahreszeiten 6·0 und in den extremen Jahresvierteln 6·4 und 6·5 beträgt. Wohl handelt es sich da um die Spielräume zwischen den äußersten Grenzen; aber wenn man auch nur zwei Dritteile dieser Amplituden in Betracht zieht, würden sich durch sie schon erhebliche Klimawechsel erklären lassen. Es würden aber bei der in geologischem Zeitmaß kurzen Dauer der Perioden der Ekliptikschiefe und Bahnexzentrizität viel häufigere große Klimawechsel anzunehmen sein als die geologische Urkunde aufzeigt. Nur weitere Forschungen werden zu einer Beantwortung der Frage verhelfen können, ob diese Urkunde so lückenhaft ist, daß sie in relativ rascher Folge stattgehabte große Wärmewechsel gar nicht erkennen läßt (auch aus dem Tagebuch eines Reisenden, der etwa jeweils nur beim Betreten und Verlassen seiner Standquartiere das Thermometer ablesen würde, könnte man die tägliche Temperaturamplitude nicht herauslesen), oder ob die von Spitaler angewandten Rechnungsmethoden doch zu extreme Landtemperaturen ergaben. Verhältnismäßig gering bleiben dagegen die Spielräume der Jahresmittel. Sie betragen durchschnittlich für die gemäßigten Zonen 1·5, für die Tropen 2·0 und für die Zonen von 0 bis 60° 1·7

Die Jahresamplituden der mittleren Zonentemperaturen sind sehr großen Wechseln unterworfen. Zwischen Perihelsommer und Aphelwinter in der Zone zwischen 60° und 20° N bis zu 31·6 (III), in der Zone zwischen 60° N und 0° bis zu 26·0 (III) anwachsend und auch in den entsprechenden Zonen der Südhalbkugel 27·5 (V) und 23·0 (V) erreichend, sinken sie zwischen Aphelsommer und Perihelwinter in der nördlich gemäßigten Zone bis auf 3·4 (II), in der südlich gemäßigten bis auf 2·1 (IV) herab und in der Zone zwischen 60° und 0° tritt sogar in mehreren Fällen das scheinbare Paradoxon ein, daß die Differenz $t_s - t_w$ negativ wird: —0·3 und —0·5 (I und II Nord) und —1·3 bis —1·5 (I bis IV Süd). Auch dies bezeugt die Exzessivität der von Spitaler berechneten Landklimate. In den Tropen ist die jährliche Wärmeschwankung

Nordhemisph.			$e = 0\cdot07775$, $\varepsilon = 27°48'$				$e = 0\cdot07775$, $\varepsilon = 20°34'$				$e = 0$	
Jahreszeiten			0	90	180	270	0	90	180	270	$\varepsilon = 27°48'$	$\varepsilon = 20°34'$
Zone von 20° N bis 60° N	Frühling	I	17·2	13·1	11·5	14·5	18·1	14·1	12·3	15·0	14·4	15·2
		II	16·5	12·8	11·4	14·1	17·4	13·9	12·3	14·8	14·0	14·9
		III	20·8	14·2	11·8	16·7	21·6	15·3	12·4	17·1	16·1	16·9
		IV	17·7	13·2	11·5	14·8	18·6	14·3	12·3	15·4	14·6	15·4
		V	18·9	13·2	11·3	15·6	19·8	14·3	12·1	16·1	14·3	15·9
	Sommer	I	18·7	22·9	wie $\pi = 0$	16·0	18·7	22·7	wie $\pi = 0$	15·9	19·5	19 3
		II	17·7	21·4		15·3	17·9	21·4		15·4	18·3	18·4
		III	24·2	30·9		19·6	23·4	29·8		18·8	25·1	24·1
		IV	19·4	24·0		16·4	19·3	23·8		16·3	20·1	19·9
		V	23·0	28·8		19·1	22·1	27·6		18·3	23·9	22·9
	Winter	I	5·7	4·1	wie $\pi = 0$	8·2	8·9	7·0	wie $\pi = 0$	11·6	6·1	9·3
		II	6·4	5·1		8·7	9·3	7·7		12·0	6·8	9·8
		III	1·7	−0·7		5·5	6·3	3·5		10·7	2·3	7·0
		IV	5·2	3·5		7·9	8·6	6·5		11·6	5·6	9·1
		V	1·6	−0·3		4·7	6·0	3·6		9·5	2·1	6·5
Zone von 20° S bis 20° N	Frühling	I	36·3	29·1	24·1	29·1	37·3	30·0	25·0	30·0	30·0	30·9
		II	35·4	28·6	23·9	28·6	36·5	29·5	24·7	29·5	29·5	30·5
		III	35·3	28·5	23·9	28·5	36·3	29·4	24·8	29·4	29·4	30·3
		IV	34·9	28·3	23·8	28·3	36·0	29·3	24·7	29·3	29·2	30·2
		V	31·8	26·8	23·2	26·6	33·0	27·7	24·1	27·6	27·4	28·0
	Sommer	I	25·7	32·6	wie $\pi = 0$	20·9	28·0	35·3	wie $\pi = 0$	23·1	26·5	29·0
		II	25·2	31·7		20·8	27·6	34·4		23·0	26·1	28·5
		III	25·5	32·0		21·1	27·8	34·6		23·2	26·4	28·7
		IV	25·3	31·8		21·0	27·7	34·3		23·2	26·2	28·6
		V	23·6	28·5		20·2	25·8	30·9		22·4	24·3	26·5
	Winter	I	25·8	21·1	wie $\pi = 0$	32·9	28·2	23·3	wie $\pi = 0$	35·5	26·8	29·2
		II	25·7	21·2		32·4	28·0	23·4		34·8	26·6	29·9
		III	25·3	20·9		31·8	27·7	23·0		34·3	26·2	28·0
		IV	25·2	21·0		31·7	27·5	23·0		34·1	26·0	28·4
		V	25·0	21·5		30·1	26·9	23·3		32·1	25·7	27·7
Zone von 60° S bis 20° S	Frühling	I	16·5	14·1	11·6	13·0	17·4	14·8	12·4	14·1	14·1	14·9
		II	16·4	14·0	11·6	12·9	17·3	14·7	12·4	14·0	14·0	14·9
		III	15 6	13·5	11·4	12·6	16·5	14·4	12·3	13·6	13·6	14·4
		IV	15·4	13·4	11·4	12·5	16·3	14·2	12·2	13·5	13·5	14·4
		V	20·9	16·7	12·1	14·7	21·7	17·2	12·8	15·6	16·3	16·5
	Sommer	I	7·4	9·7	wie $\pi = 0$	6·0	10·1	12·5	wie $\pi = 0$	8·5	7·9	10·6
		II	7·6	9·7		6·1	10·2	12·5		8·6	8·0	10·6
		III	7·9	9·8		6·8	10·3	12·3		8·9	8·3	10·7
		IV	7·9	9·8		6·8	10·3	12·3		8·9	8·3	10·7
		V	4·0	7·8		1·4	8·0	12·3		5·2	4·5	8·6
	Winter	I	17·0	14·7	wie $\pi = 0$	20·4	17·3	15·0	wie $\pi = 0$	20·7	17·5	17·8
		II	16·8	14·5		20·2	17·1	14·9		20·5	17·3	17·6
		III	16·0	14·0		18·9	16·4	14·5		19·3	16·5	16·9
		IV	15·9	13·9		18·6	16·3	14·4		19·1	16·4	16·8
		V	22·6	18·9		28·9	22·1	18·0		28·2	23·4	23·0

Nordhemisph. Jahreszeiten			$e = 0 \cdot 07775$, $\varepsilon = 27°48'$				$e = 0 \cdot 07775$, $\varepsilon = 20°34'$				$e = 0$	
			0	90	180	270	0	90	180	270	$\varepsilon = 27°48'$	$\varepsilon = 20°34'$
Zone von 0° bis 60° N	Frühling	I	24·6	19·2	16·4	20·3	25·6	20·2	17·3	21·0	20·5	21·4
		II	23·6	18·7	16·3	19·7	24·6	19·8	17·1	20·5	19·9	20·8
		III	26·6	19·7	16·5	21·6	27·5	20·8	17·3	22·1	21·4	22·2
		IV	24·6	19·1	16·4	20·3	25·5	20·1	17·2	21·0	20·4	21·3
		V	23·3	18·1	15·8	19·7	24·3	19·1	16·7	20·3	19·0	20·4
	Sommer	I	22·7	28·0	wie $\pi = 0$	19·0	23·2	28·6	wie $\pi = 0$	19·6	23·5	24·0
		II	21·7	26·5		18·5	22·4	27·2		19·2	22·5	23·1
		III	26·0	32·7		21·3	26·1	32·7		21·4	26·8	26·8
		IV	23·0	28·4		19·3	23·5	28·9		19·8	23·7	24·2
		V	23·9	29·2		20·4	24·0	29·1		20·5	24·7	24·7
	Winter	I	12·4	9·7	wie $\pi = 0$	16·5	15·5	12·6	wie $\pi = 0$	19·9	13·0	16·2
		II	12·7	10·4		16·4	15·7	13·1		19·7	13·3	16·3
		III	9·8	6·7		14·6	13·9	10·4		19·0	10·5	14·6
		IV	11·9	9·4		16·0	15·2	12·3		19·5	12·5	15·8
		V	9·7	7 4		13·1	13·2	10·7		17·0	10·2	13·8
Zone von 60° S bis 0°	Frühling	I	24·4	20·2	16·6	19·3	25·4	20·9	17·4	20·3	20·4	21·3
		II	24·2	20·1	16·5	19·2	25·2	20·8	17·3	20·2	20·3	21·2
		III	23·3	19·5	16·3	18·7	24·3	20·4	17·2	19·7	19·8	20·7
		IV	23·1	19·4	16·3	18·6	24·1	20·2	17·1	19·7	19·7	20·6
		V	26·0	21·2	16·7	19·7	26·9	21·8	17·4	20·7	21·1	21·3
	Sommer	I	13·4	17·5	wie $\pi = 0$	10·8	16·3	20·6	wie $\pi = 0$	13·4	14·0	17·0
		II	13·5	17·3		10·9	16·3	20·5		13·5	14·1	17·0
		III	13·6	17·2		11·3	16·3	20·0		13·7	14·2	16·9
		IV	13·6	17·1		11·4	16·3	20·0		13·7	14·4	16·8
		V	11·0	15·5		8·0	14·6	19·5		11·4	11·6	15·3
	Winter	I	21·8	18·3	wie $\pi = 0$	26·8	22·6	19·1	wie $\pi = 0$	27·7	22·5	23·3
		II	21·6	18·2		26·6	22·4	19·1		27·4	22·3	23·1
		III	20·9	17·8		25·3	21·7	18·7		26·2	21·5	22·4
		IV	20·7	17·8		25·1	21·6	18·6		26·0	21·4	22·3
		V	24·7	20·7		31·0	25·0	20·8		31·2	25·6	25·9

bei dem Maximum von e bei $\pi = 90$ und $\pi = 270$ durchschnittlich 10·7, in den anderen Fällen sinkt sie im Mittel auf 0·5 herab.

Im besonderen kommen in den Zahlenwerten der Tabellen die Verschiedenheiten der fünf in Betracht gezogenen Erdbilder zur Geltung, da die von den variablen Bahnelementen abhängigen Wärmewechsel über Land und Meer sehr ungleich sind. I, II und IV zeigen ein Maximum der Landentwicklung in den Tropen und ein Minimum derselben in den nördlichen Subtropen, bei III verstreicht dieses Minimum, bei V verschiebt es sich in die äußeren Nordtropen und rückt das Maximum in die südlichen Roßbreiten vor. In den subarktischen Breiten ist die Landbedeckung bei III und V sehr groß, in den subantarktischen sinkt sie in allen Bildern auf 0 herab.

Zone			$e = 0 \cdot 07775$		$e = 0$	
			$\varepsilon =$ 27° 48'	$\varepsilon =$ 20° 34'	$\varepsilon =$ 27° 48'	$\varepsilon =$ 20° 34'
Jahresmittel	20° N bis 60° N	I	13·3	14·5	13·6	14·8
		II	13·0	14·2	13·3	14·4
		III	14·7	15·9	14·9	16·3
		IV	13·4	14·7	13·8	15·0
		V	13·7	15·1	14·0	15·3
	20° S bis 20° N	I	28·0	29·6	28·4	30·0
		II	27·5	29·2	28·0	29·6
		III	27·5	29·1	27·8	29·5
		IV	27·3	29·0	27·7	29·3
		V	25·9	27·5	26·2	27·8
	60° S bis 20° S	I	13·1	14·3	13·4	14·6
		II	13·1	14·2	13·3	14·5
		III	12·8	13·9	13·0	14·1
		IV	12·7	13·8	12·9	14·0
		V	14·9	16·1	15·2	16·5

Zone			$e = 0 \cdot 07775$		$e = 0$	
			$\varepsilon =$ 27° 48'	$\varepsilon =$ 20° 34'	$\varepsilon =$ 27° 48'	$\varepsilon =$ 20° 34'
Jahresmittel	0° bis 60° N	I	19·1	20·4	19·4	20·7
		II	18·6	20·0	18·9	20·2
		III	19·8	21·1	20·0	21·5
		IV	18·9	20·4	19·3	20·6
		V	18·2	19·6	18·5	19·9
	60° S bis 0°	I	19·0	20·4	19·4	20·7
		II	18·9	20·3	19·3	20·7
		III	18·6	19·9	18·9	20·2
		IV	18·5	19·8	18·8	20·1
		V	19·6	21·0	19·9	21·3
	60° S bis 60° N	I	19·1	20·4	19·4	20·7
		II	18·8	20·2	19·1	20·5
		III	19·2	20·5	19·5	20·9
		IV	18·7	20·1	19·1	20·4
		V	18·9	20·3	19·2	20·6